

SIMULATION NUMÉRIQUE INTERACTIVE EN MÉDECINE

Stéphane Cotin



SIMULATION NUMÉRIQUE ET MÉDECINE



1929

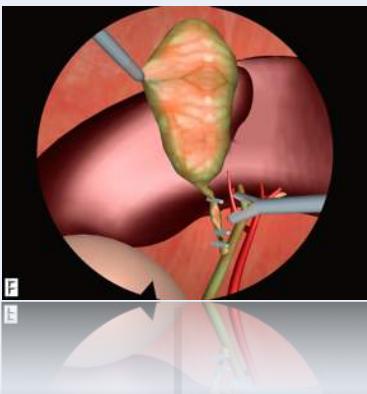
Premier simulateur de vol



1999

Simulateur de vol commercial très réaliste

Simulation rendue obligatoire par compagnies d'assurance

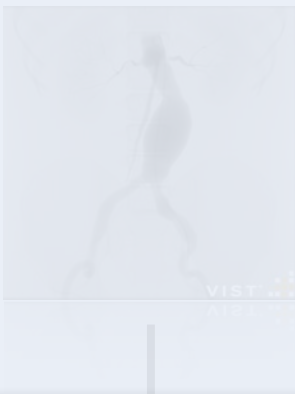


1999

Premier simulateur chirurgical

2000

Recommandations de la FDA



2002

Simulation de radiologie interventionnelle



2010

Simulation pour le robot DaVinci

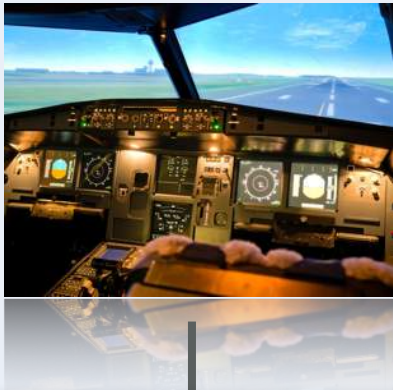


SIMULATION NUMÉRIQUE ET MÉDECINE



1929

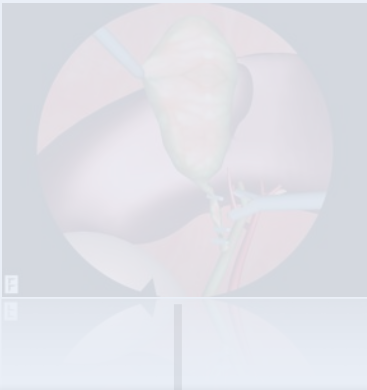
Premier simulateur de vol



1999

Simulateur de vol commercial très réaliste

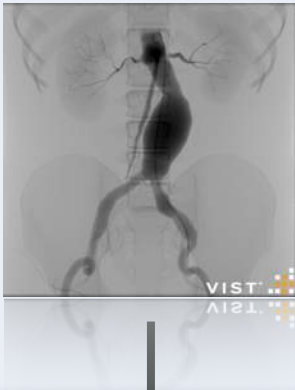
Simulation rendue obligatoire par compagnies d'assurance



1999

Premier simulateur chirurgical

Recommandations de la FDA



2002

Simulation de radiologie interventionnelle



2010

Simulation pour le robot DaVinci



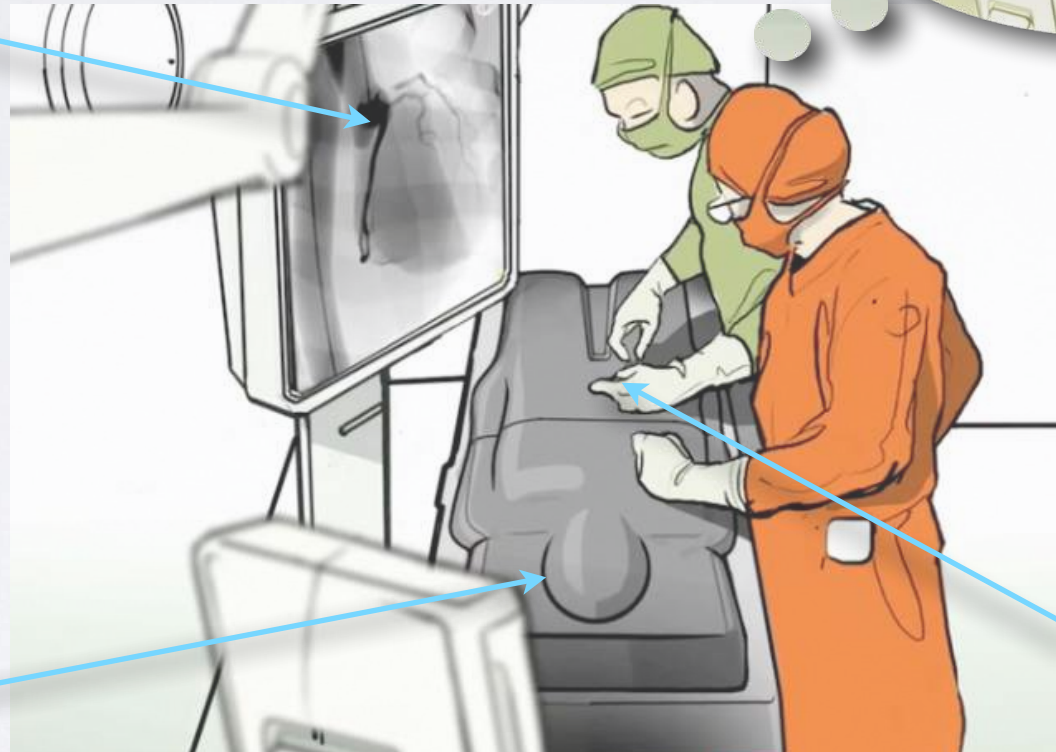
DE L'APPRENTISSAGE ...



Retour visuel

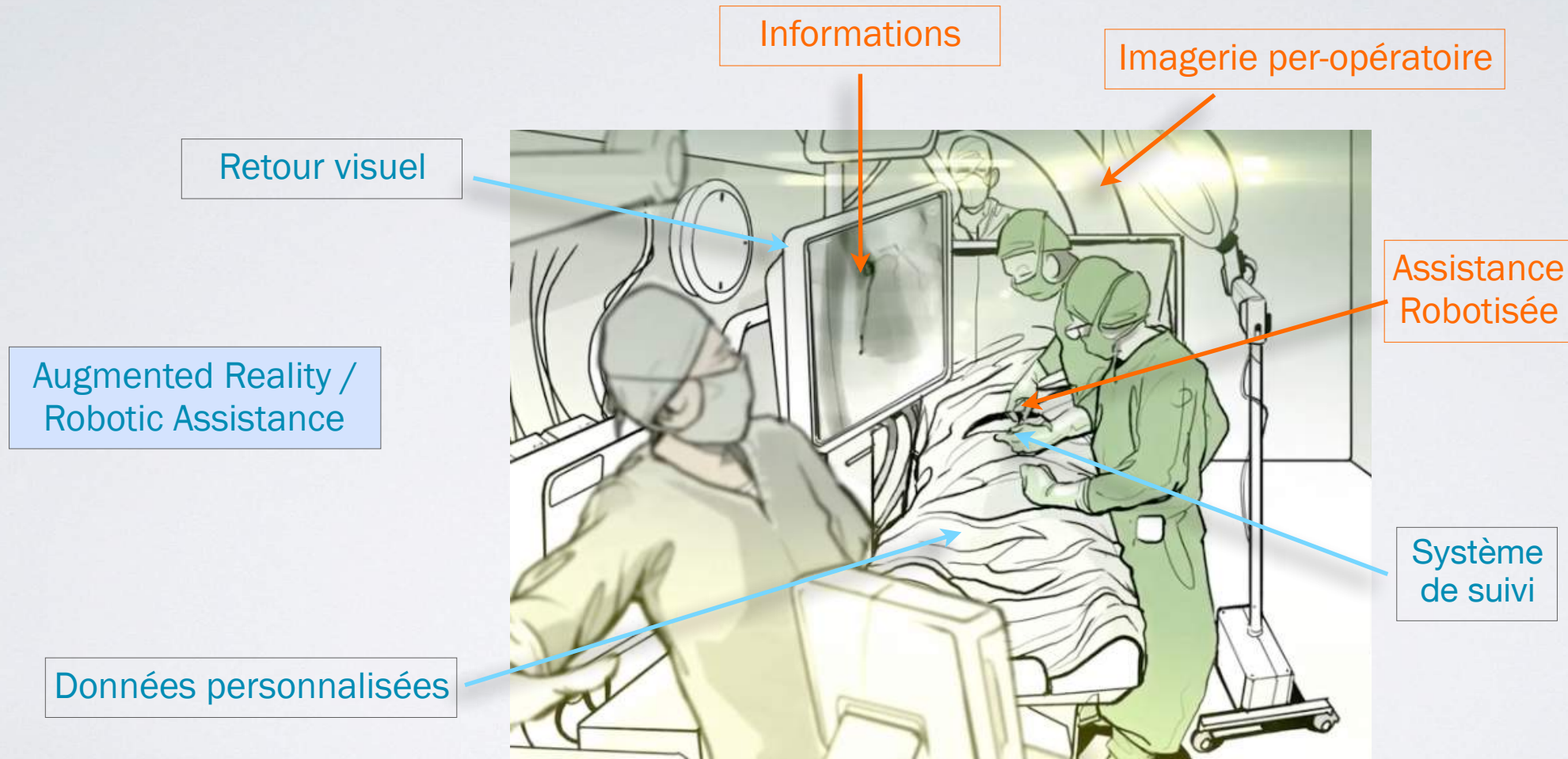
Apprentissage
et planification
pré-opératoire

Données personnalisées



Système de suivi
& retour d'efforts

...À L'AIDE PER-OPÉRATOIRE

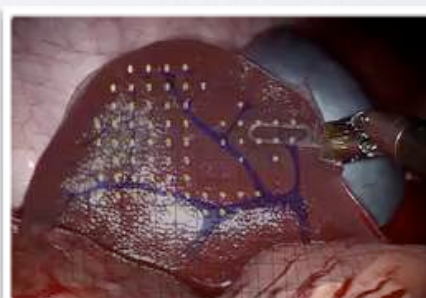
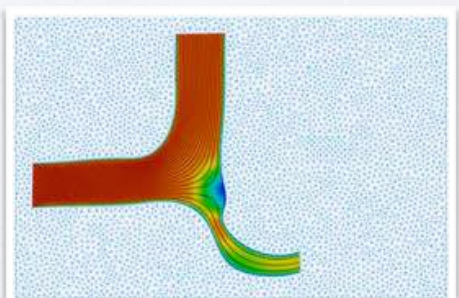
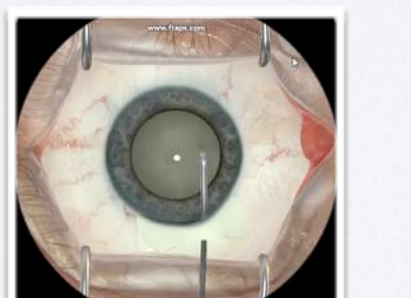
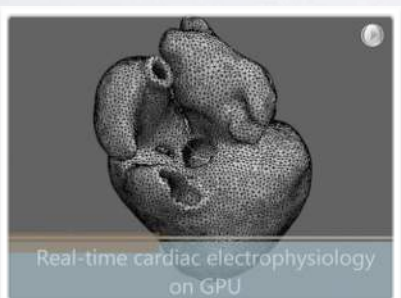
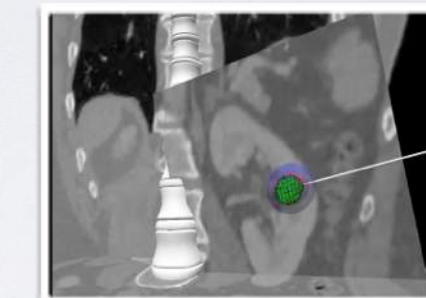
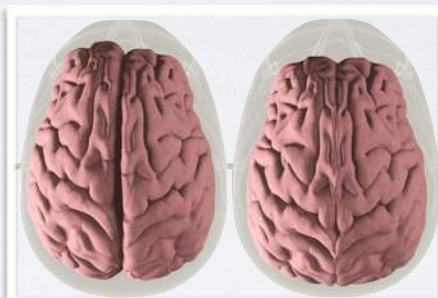
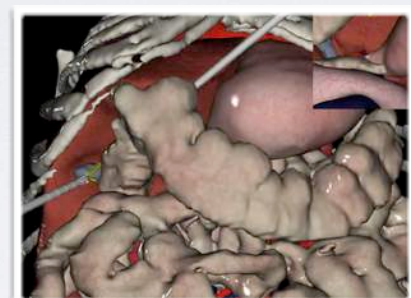
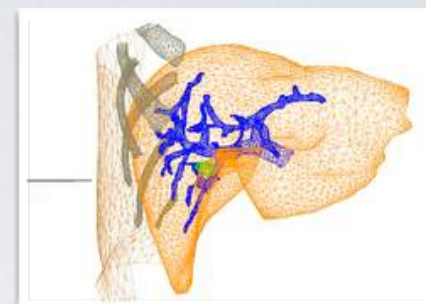
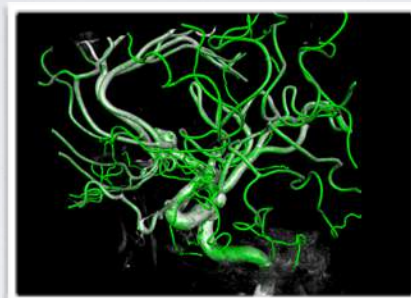
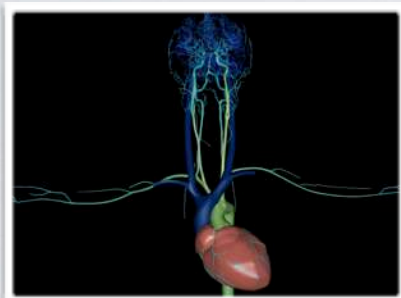


Formation

Planification pré-opératoire

Assistance per-opératoire

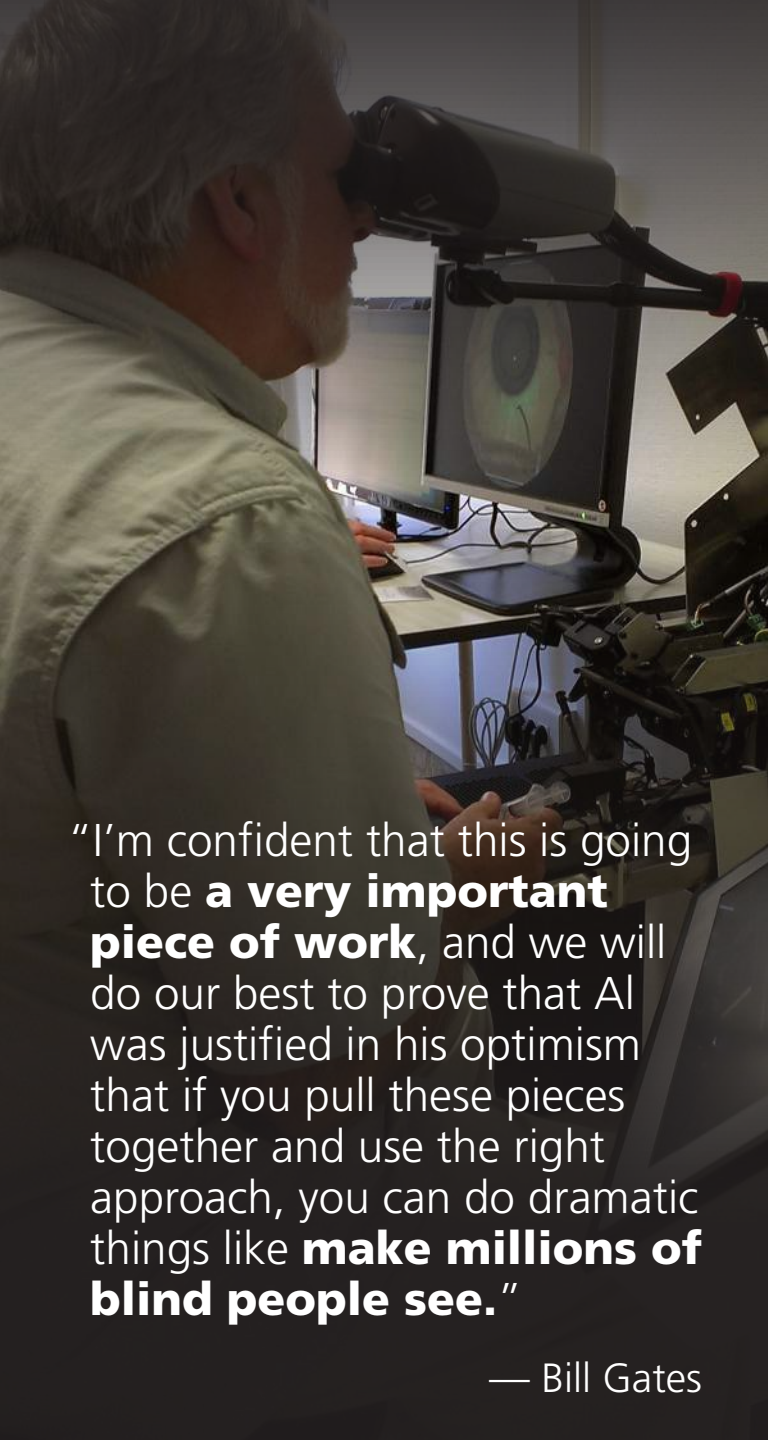
Calculs en temps-réel – moins de 50 ms



Modélisation "simple"

Modélisation patient-spécifique

Modélisation Complexe



“I’m confident that this is going to be **a very important piece of work**, and we will do our best to prove that AI was justified in his optimism that if you pull these pieces together and use the right approach, you can do dramatic things like **make millions of blind people see.**”

— Bill Gates

LE PROJET “HELP ME SEE”

www.helpmeseesee.org

A 15-MINUTE SURGERY COULD GIVE THIS GIRL HER EYESIGHT BACK

CLOSE

YES, I WANT TO GIVE A BLIND CHILD OR ADULT A CHANCE TO SEE.

\$300 Full Surgery \$150 Half Surgery
 \$75 Anesthesia Other

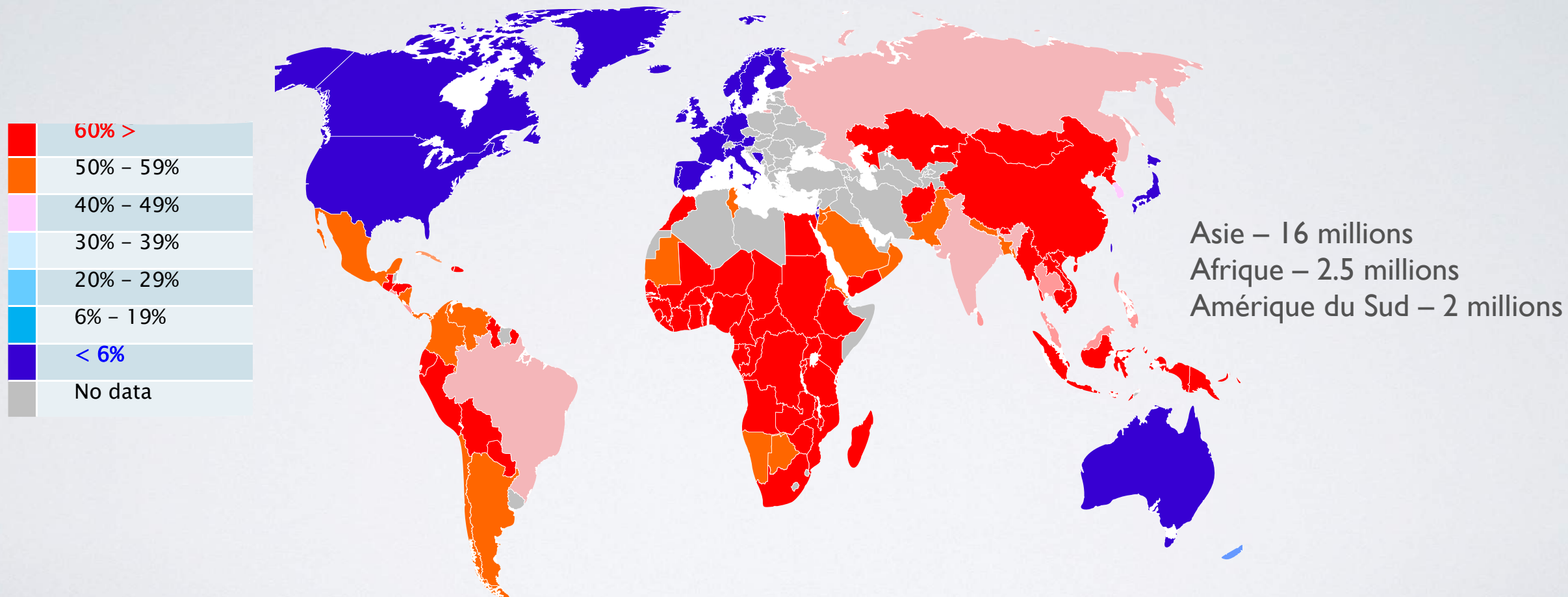
HelpMeSee is a registered 501c3. 100% of this gift is tax-deductible. © 2011 HelpMeSee.

First Name*	Last Name*
Email Address*	
Card Type*	
Card Number*	
Exp. Date* (Exp: 01/13)	CVV* ?
Comments and Suggestions	

DONATE

[Other ways to donate](#)

UN PROBLÈME À L'ÉCHELLE MONDIALE...



20 million d'enfants et de jeunes adultes aveugles en raison de cataractes non traitées

... ET UNE SOLUTION AMBITIEUSE

- Nouvelle technique chirurgicale (MSICS)
 - ▶ \$50 et 10 min par chirurgie
 - ▶ À comparer à \$5,000 pour l'approche conventionnelle (phacoémulsification)



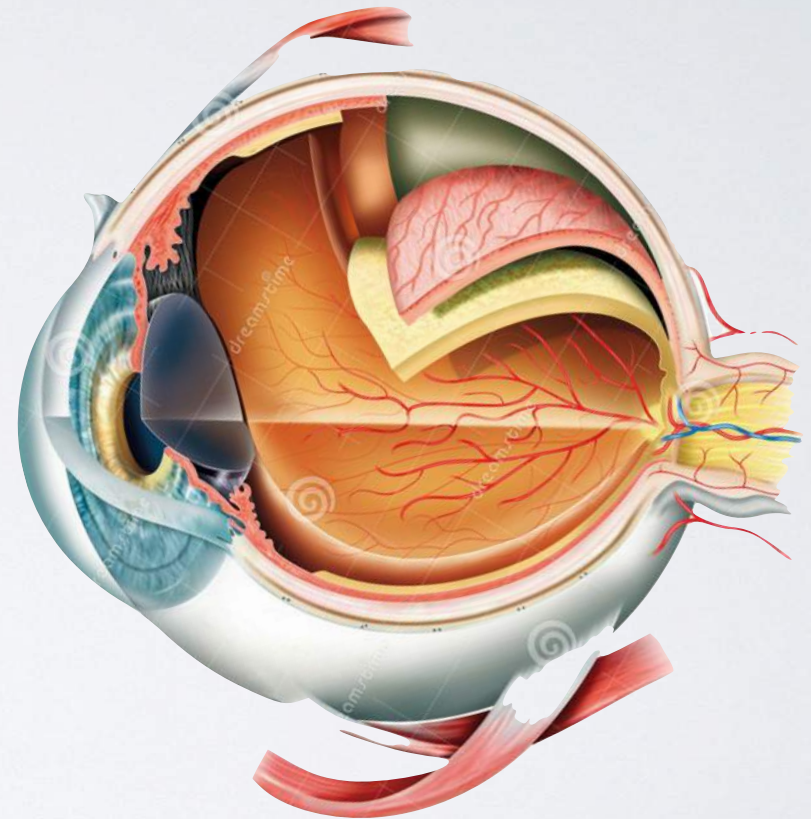
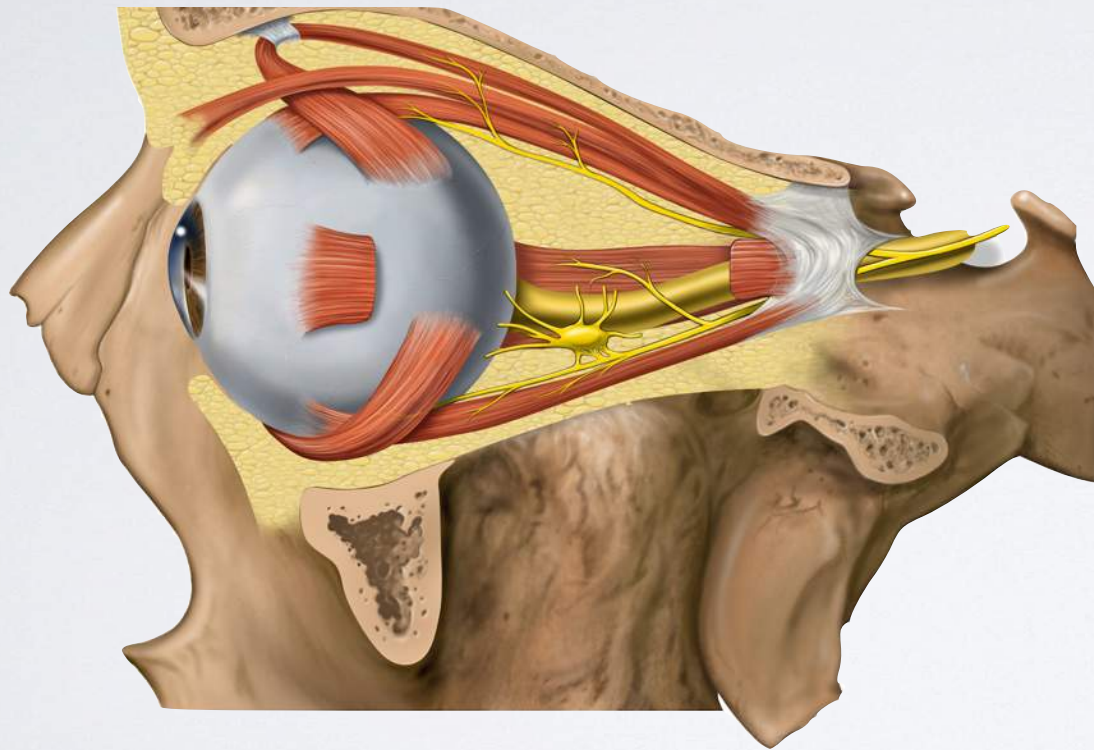
- Trop peu de chirurgiens formés à cette technique (100 en 2014 mais 30 000 nécessaires)

ACCÉLÉRER LA FORMATION PAR LA SIMULATION

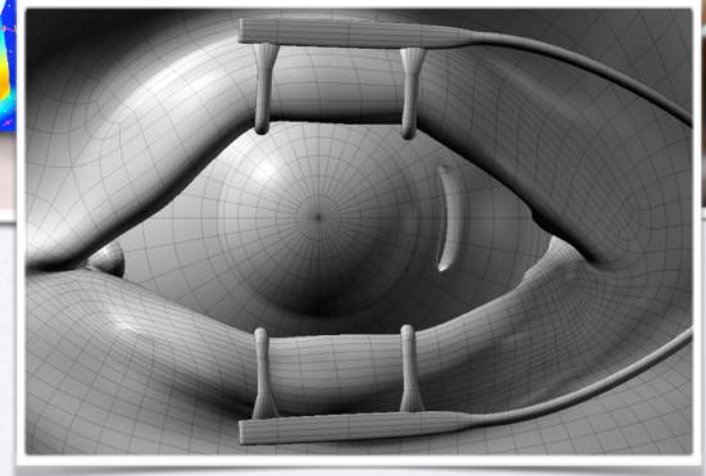
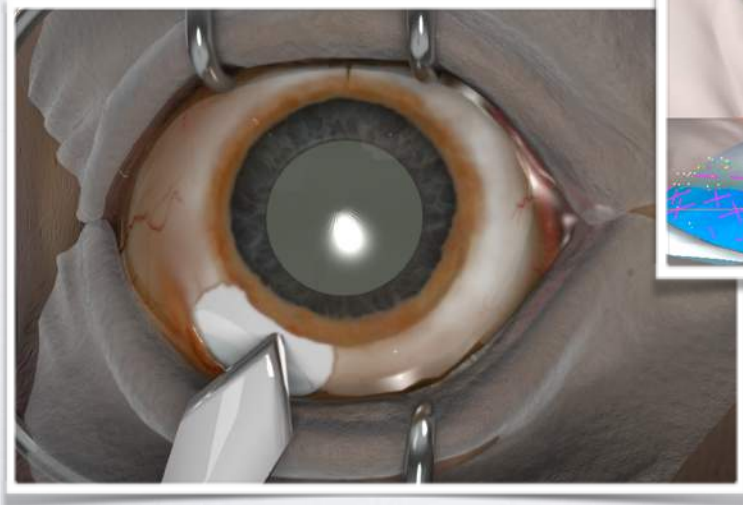
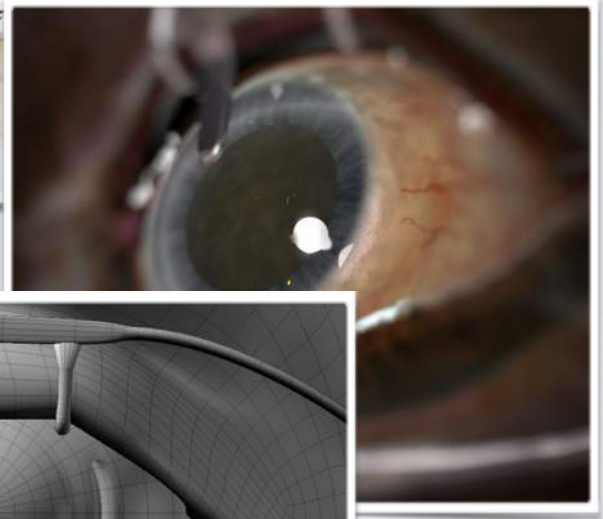
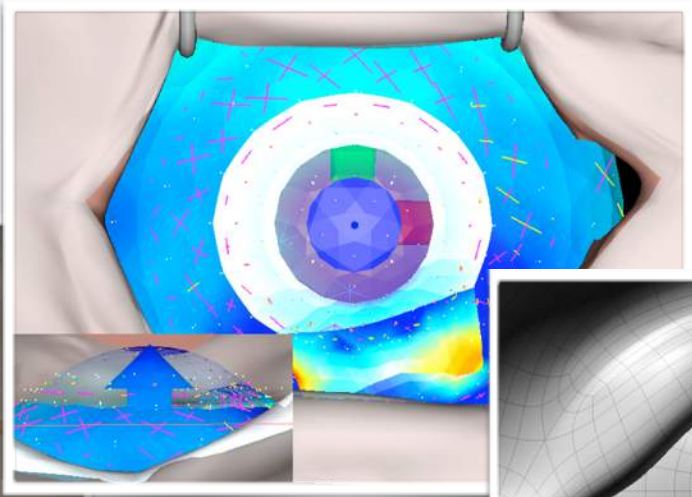
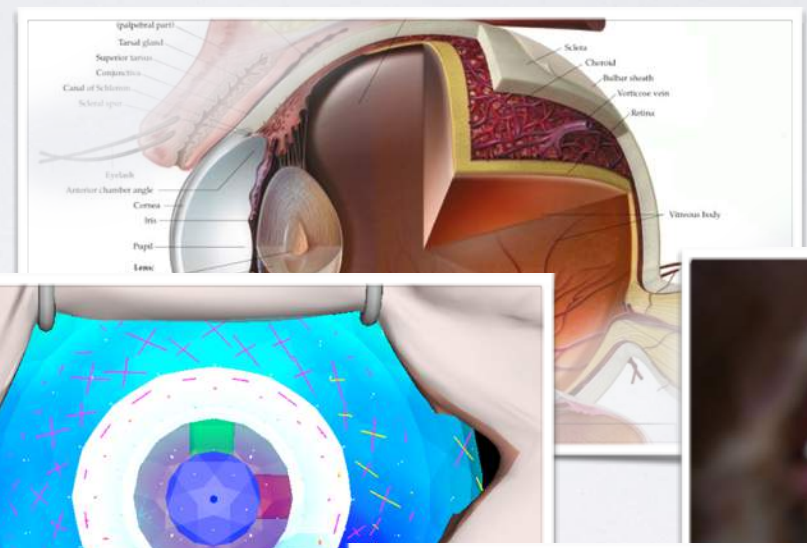
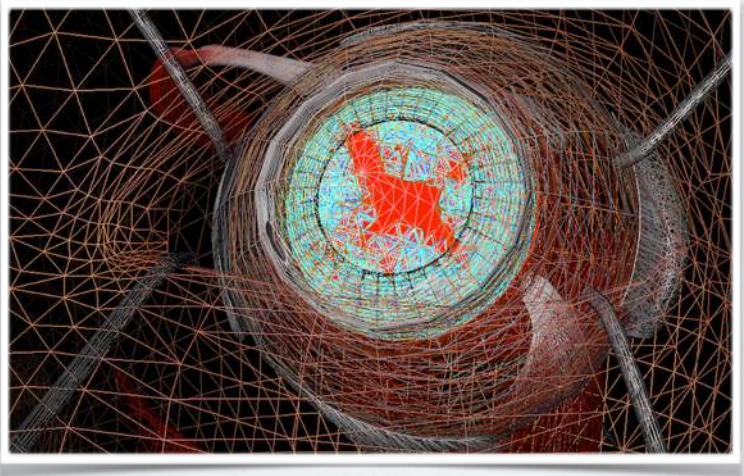
- Une solution possible : la simulation numérique interactive
- Pour cela les simulateurs devront
 - ▶ Nécessiter peu de maintenance
 - ▶ Etre très réalistes
 - ▶ Prendre en compte complications et variations anatomiques
 - ▶ Etre distribués dans de nombreux centres de formations
- Il sera ainsi possible de former 30,000 chirurgiens en moins de 5 ans



L'OEIL, UNE ANATOMIE COMPLEXE

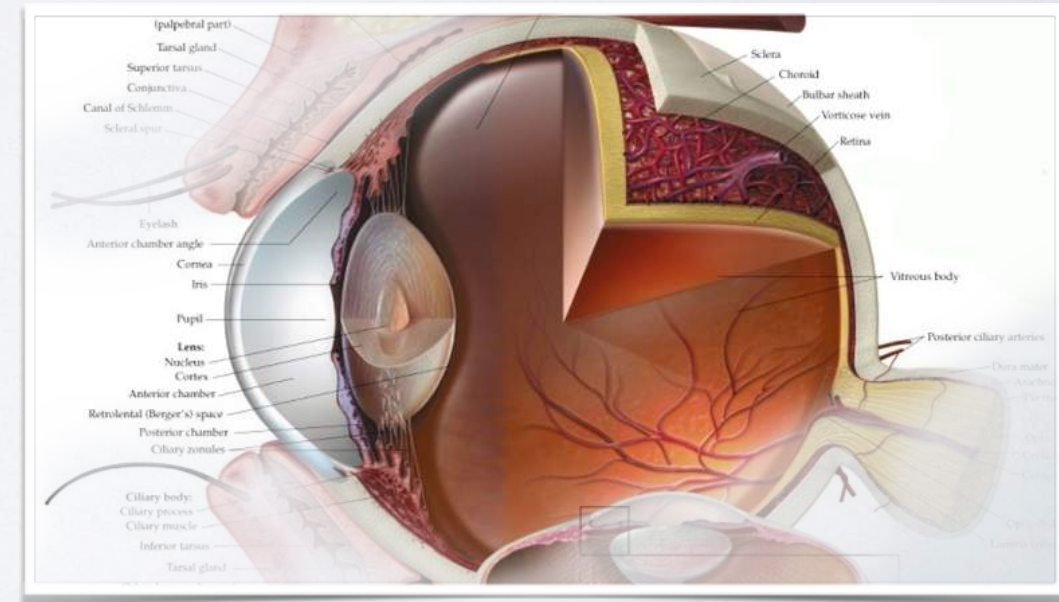


L'OEIL, UNE ANATOMIE COMPLEXE



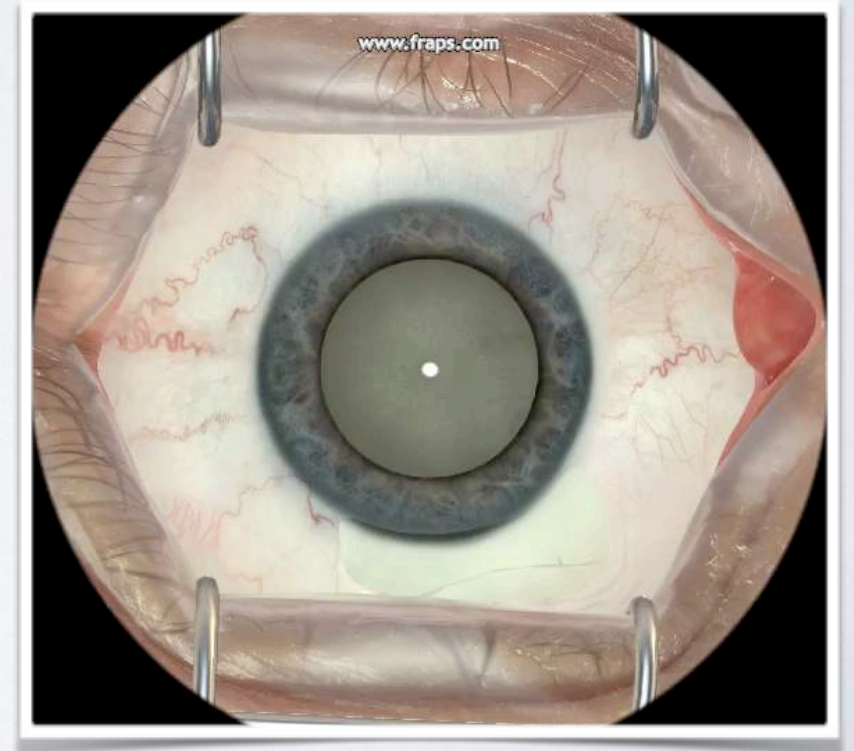
MODÉLISATION BIOMÉCANIQUE

- Modélisation physique de la cornée, de la sclère, de l'iris, des zonules et de la conjonctive
 - ▶ Chaque structure est modélisée de façon spécifique
 - ▶ Les différentes structures sont couplées mécaniquement entre elles
- Modélisation de la pression intra-oculaire
 - ▶ La pression décroît si une ouverture est créée
 - ▶ La pression contrôle la raideur du globe oculaire
- Simulation en temps-réel
 - ▶ Méthodes éléments finis optimisées
 - ▶ Schéma d'intégration implicite
 - ▶ Solveurs de systèmes linéaires sur GPU



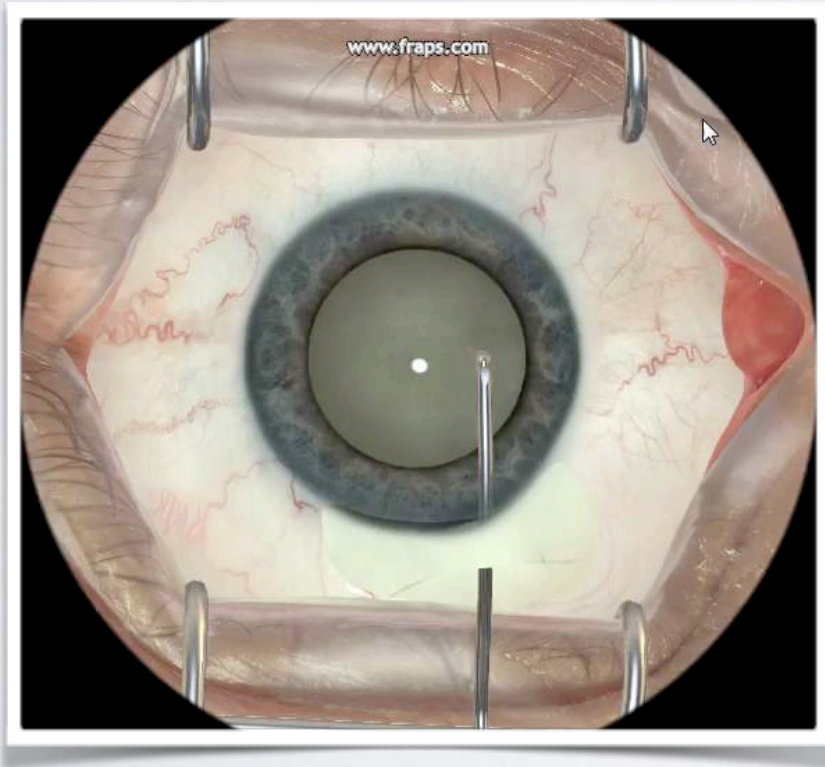
MODÉLISATION BIOMÉCANIQUE

- Modélisation physique de la cornée, de la sclère, de l'iris, des zonules et de la conjonctive
 - ▶ Chaque structure est modélisée de façon spécifique
 - ▶ Les différentes structures sont couplées mécaniquement entre elles
- Modélisation de la pression intra-oculaire
 - ▶ La pression décroît si une ouverture est créée
 - ▶ La pression contrôle la raideur du globe oculaire
- Simulation en temps-réel
 - ▶ Méthodes éléments finis optimisées
 - ▶ Schéma d'intégration implicite
 - ▶ Solveurs de systèmes linéaires sur GPU

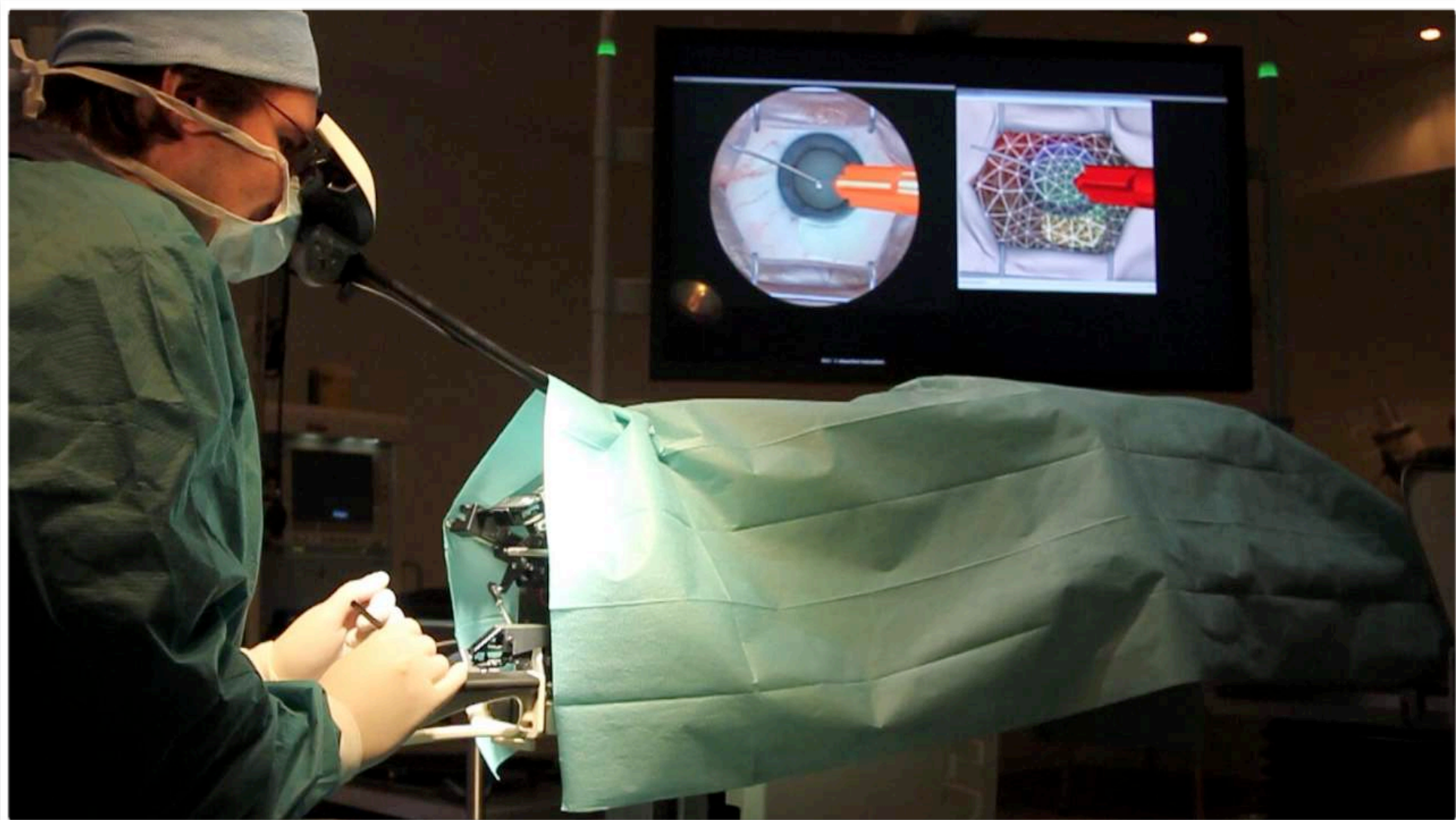


PRISE EN COMPTE DES INTERACTIONS

- Les interactions sont au coeur même d'une intervention chirurgicale



- Interaction anatomie - instruments
 - ▶ Deformation
 - ▶ Injection de fluides
 - ▶ Modèles de contact non-lisses
 - ▶ Changements topologiques
 - ▶ Retour d'efforts



UNE OPPORTUNITÉ UNIQUE POUR LA SIMULATION MÉDICALE

Formation “théorique”



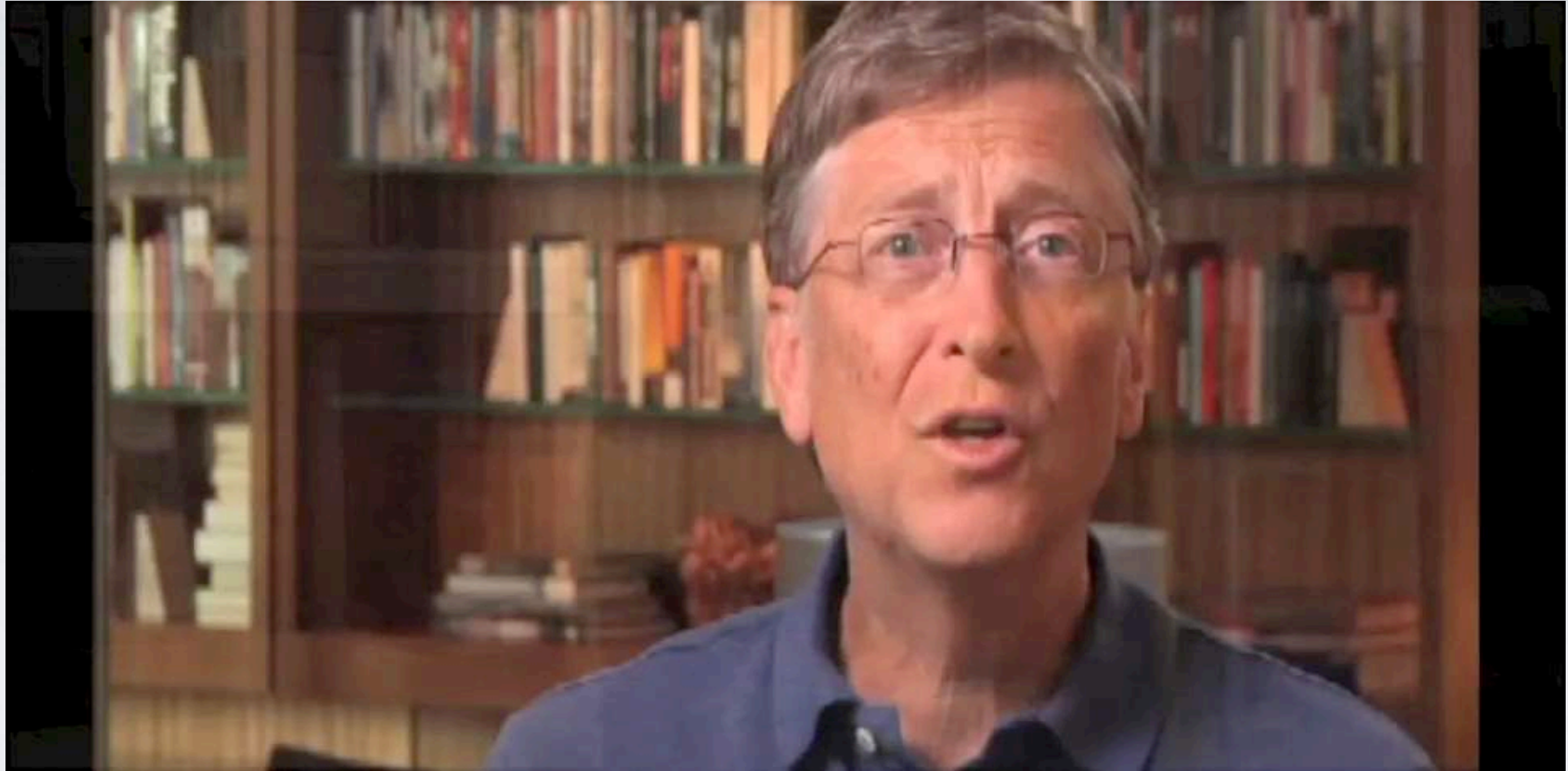
200 to 300 sessions d'entraînement sur simulateur



20 interventions contrôlées sur patient

90% de la formation sera réalisée sur modèles numériques !

... MAIS AVEC UN IMPACT POTENTIEL ÉNORME

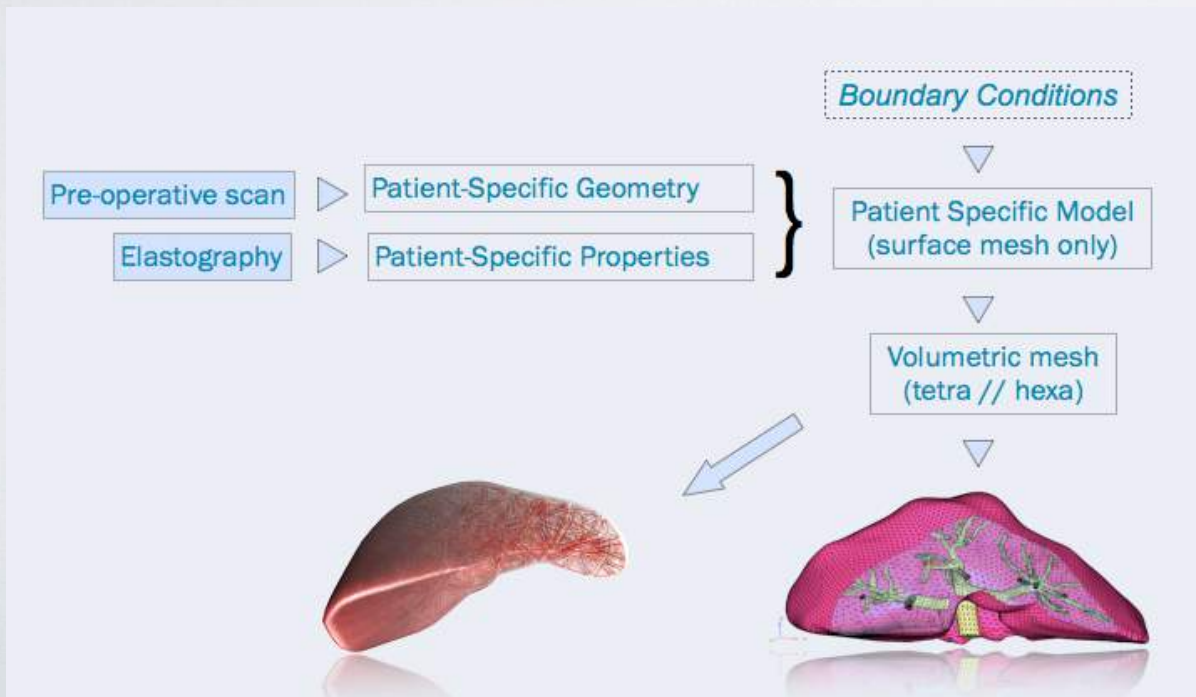


Bill Gates s'exprimant sur les défis de la simulation et la fondation HelpMeSee

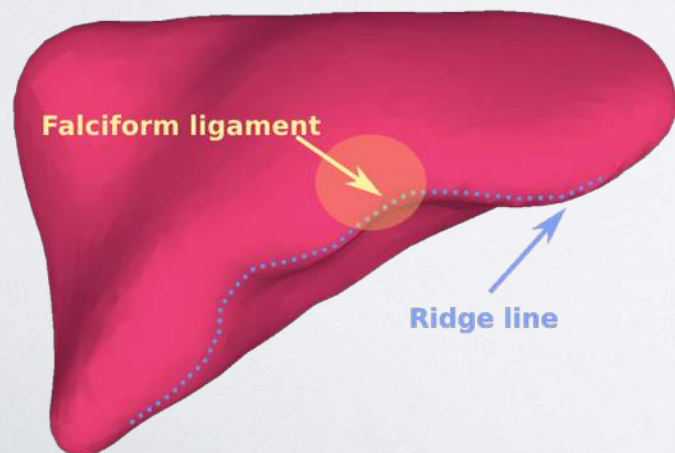
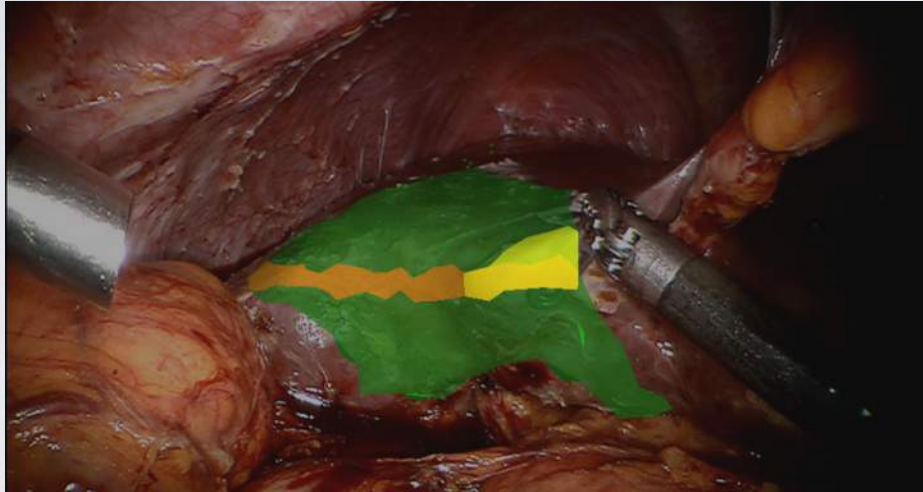
ET MAINTENANT ?

DE L'APPRENTISSAGE À L'AIDE PER-OPÉRATOIRE

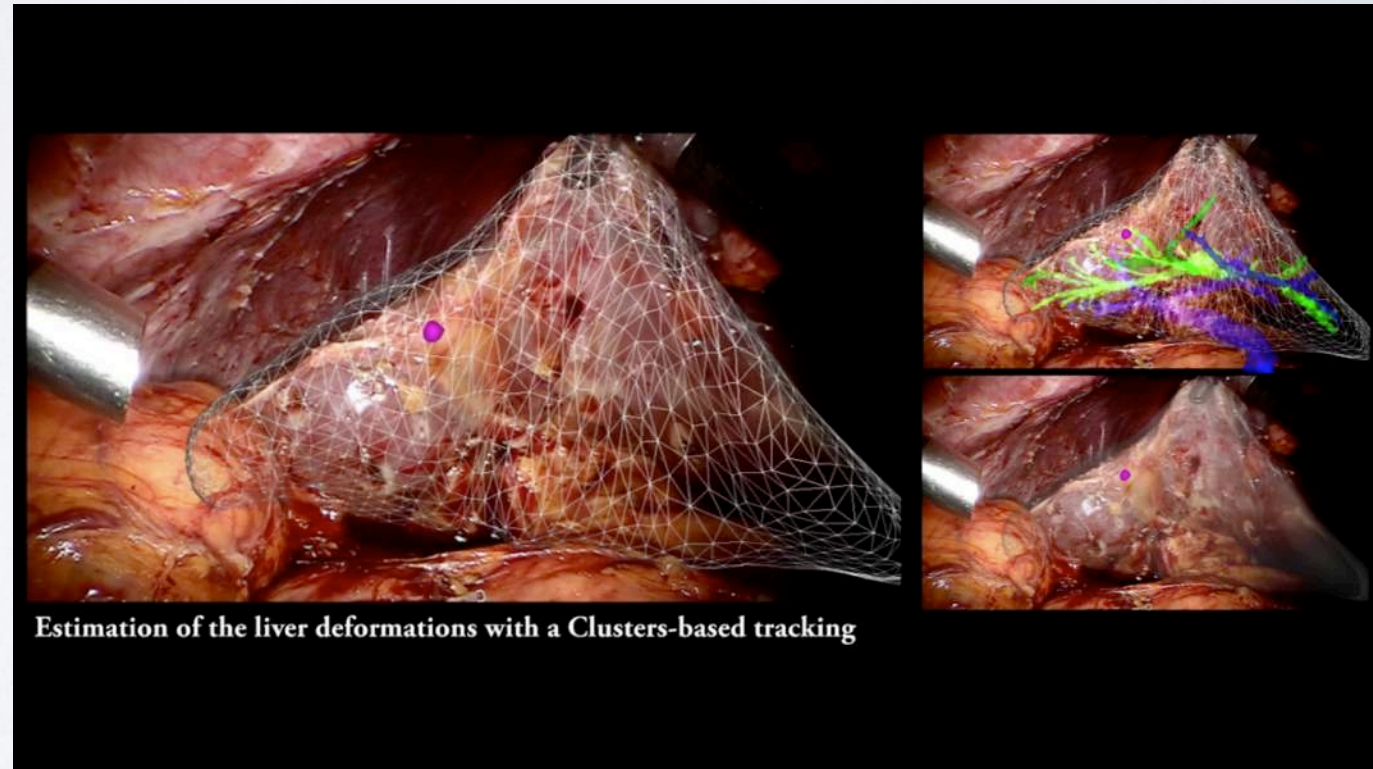
- Modèles numériques plus complexes
- Paramétrisation patient-spécifique
- Identification des conditions aux limites
- Reconstruction automatique
- Maillages volumiques adaptatifs
- Nouvelles méthodes numériques



DE L'APPRENTISSAGE À L'AIDE PER-OPÉRATOIRE



Travaux réalisés en partenariat avec l'IHU-Strasbourg



SIMULATION NUMÉRIQUE EN MÉDECINE : UN CONTINUUM

- Même modèles sous-jacents entre apprentissage et aide intra-opératoire
- Continuité dans les travaux de recherche
- Continuité dans le transfert de technologie (recherche translationnelle)
- Continuité dans le cursus professionnel des médecins
 - ▶ formation et pratique basée sur des outils technologiques communs
- Un outil formidable : SOFA (Simulation Open Framework Architecture)
 - ▶ Gratuit pour les chercheurs du monde entier

MERCI DE VOTRE ATTENTION

Et un grand merci à

Juan Pablo de la Plata
Jérémie Dequidt
Christian Duriez
Pierre-Jean Bensoussan
Hadrien Courtecuisse
Christoph Paulus
Bruno Carrez
Ahmed Yureidini
Hugo Talbot
Vincent Majorczyk
Alexandre Bilger
Julien Bosman
Guillaume Kazmitcheff
Zhifan Jiang
Eulalie Coevoet
Nazim Haouchine
Rosalie Plantefeve
Mario Sanz Lopez
Frédéric Roy
Rémi Bessart-Duparc

